

Sintesis Bioplastik Berbasis Pati Sagu (*Metroxylon Sp*) Termodifikasi Heat Moisture Treatment (HMT) Dan Aplikasinya Sebagai Pengemas Kopi Bubuk

*[Bioplastic Synthesis based on Modified Heat Moisture Treatment (HMT) Sago Starch (*Metroxylon Sp*) and its Application as Powdered Coffee Packaging]*

John Dewan Emanratu¹, Budi Santoso¹ dan Angela Myrra Puspita Dewi^{1*}

¹ Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua, Manokwari, Papua Barat, Indonesia 98314

* Email korespondensi : a.puspita@unipa.ac.id

ABSTRACT

The physical, mechanical and degradability properties of bioplastics made from natural and Heat Moisture Treatment (HMT) modified sago starch and their application as packaging for ground coffee were studied. HMT modification increased the amylose content by 4% and decreased the expandability by 7.16%. HMT-modified starch can also reduce the hydrophilicity of bioplastics as indicated by a decrease in WVTR value by 10% and solubility by 59%. The results also showed that bioplastic from natural and HMT-modified sago starch can be degraded on day 9 by 16% and 34%, respectively. Bioplastic from HMT-modified sago starch can be applied as a packaging for ground coffee with the speed of dissolving in hot water for 116 seconds.

Keywords: sago starch, Heat Moisture Treatment, ground coffee

ABSTRAK

Sifat fisik, mekanis dan daya degradasi bioplastik dari pati sagu alami dan termodifikasi *Heat Moisture Treatment* (HMT) serta aplikasinya sebagai kemasan kopi bubuk telah dipelajari. Modifikasi HMT meningkatkan kadar amilosa sebesar 4% dan menurunkan daya pengembangan sebesar 7,16%. Pati termodifikasi HMT juga dapat menurunkan hidrofilitas bioplastik yang ditunjukkan dari penurunan nilai WVTR sebesar 10% dan kelarutan sebesar 59%. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa bioplastik dari pati sagu alami dan termodifikasi HMT dapat terdegradasi pada hari ke 9 masing-masing sebesar 16% dan 34%. Bioplastik dari pati sagu termodifikasi HMT dapat diaplikasikan sebagai pengemas kopi bubuk dengan kecepatan larut dalam air panas selama 116 detik.

Kata kunci: pati sagu, Heat Moisture Treatment, kopi bubuk

Pendahuluan

Penggunaan plastik sebagai bahan pengemas makanan/minuman menghasilkan potensi limbah plastik yang sulit terurai. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari konsumsi plastik konvensional adalah dengan produksi plastik ramah lingkungan yang dikenal dengan bioplastik. Plastik *biodegradable* atau bioplastik adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional tetapi dapat terdegradasi secara alami oleh mikrobia tanah. Bioplastik dapat dibuat dari polimer alami seperti pati. Pembuatan bioplastik berbasis pati pada dasarnya menggunakan prinsip gelatinisasi (Sondari et al., 2019).

Beberapa penelitian tentang pembuatan *film* berbahan baku pati sagu telah dilakukan sebelumnya. *Film* berbahan pati sagu alami memiliki karakteristik lembaran *film* yang kaku, permeabilitas terhadap uap air tinggi, dan daya larut air yang rendah (Imran et al., 2014). Dengan demikian diperlukan modifikasi sifat film dengan memperbaiki proses pembuatannya. Salah satu cara modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan modifikasi pati alaminya melalui metode *Heat Moisture Treatment* (HMT). Dewi et al. (2023) mempelajari karakteristik *biodegradable film* berbahan dasar pati sagu termodifikasi ganda *Heat Moisture Treatment*-OSA. *Biodegradable film* dari pati sagu termodifikasi HMT menghasilkan kuat tarik *film* yang tinggi (Indrianti et al., 2018)

Heat Moisture Treatment (HMT) merupakan modifikasi pati secara fisik yang melibatkan perlakuan kadar air pati yang berkisar antara 10-30% dan dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu tinggi (90-120°C) (Obioma, G. et al., 2022). HMT menyebabkan perubahan sifat fisikokimia pati alami di mana sifatnya dipengaruhi oleh kadar amilosa dan amilopektin pati alaminya, suhu pemanasan, perlakuan kadar air selama HMT, dan pengaruh metode pemanasan selama HMT. Metode pemanasan dengan tekanan tinggi pada proses HMT menyebabkan reduksi heliks ganda, dan menurunkan kristalinitas granula, sedangkan pemanasan kering pada proses HMT justru meningkatkan kristalinitas granula dan meningkatkan interaksi antarmolekul pati (Adebawale et al., 2009; Klein et al., 2013; Pukkahuta and Varavinit, 2007). Du et al. (2023) dan Khunae et al. (2007) melaporkan bahwa kadar air perlakuan HMT 20-30% menyebabkan reorganisasi fisik pada granula yang mengarah ke penurunan entalpi gelatinisasi dan kristalinitas granula.

Pati termodifikasi HMT dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *biodegradable film*. Singh et al. (2009) melaporkan bahwa bahwa *biodegradable film* berbasis pati *chesnut* termodifikasi HMT memiliki sifat kelarutan yang lebih rendah dan tensile strength yang lebih tinggi dibandingkan *biodegradable film* dari pati alami. Keunggulan modifikasi pati melalui HMT yaitu tidak menggunakan bahan kimia sehingga aman untuk kesehatan, proses modifikasi mudah dilakukan dan ekonomis.

Kajian mengenai pembuatan bioplastik berbasis pati sagu termodifikasi *Heat Moisture Treatment* (HMT) belum dilakukan. Sehingga dalam penelitian ini akan mempelajari mengenai pengaruh modifikasi pati sagu terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan dan aplikasinya sebagai pengemas kopi bubuk.

Bahan dan metode

Bahan dan alat

Bahan baku yang digunakan adalah Sagu yang diperoleh dari pasar Wosi, Manokwari, Papua Barat, gliserol sebagai plasticizer, dan aquades. Reagen kimia yang digunakan yaitu asam asetat glasial, NaOH, garam NaCl (Sigma Aldrich), dan larutan Iod (Merck). Sedangkan untuk bahan untuk analisis kecepatan degradasi bioplastic yaitu larutan EM4 (PT. Songgolangit Persada, Denpasar, Bali).

Peralatan yang digunakan adalah oven (Mettler UN 55 53L), hot plate stirrer, water bath (Mettler), cabinet dryer, peralatan gelas, termometer, neraca analitik, Poliethylene tray ukuran 20x15 cm, dan Universal Testing Machine (Zwick Z0.5).

Pelaksanaan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan penelitian. Tahap pertama Modifikasi pati sagu melalui HMT, tahap kedua karakterisasi pati HMT, tahap ketiga pembuatan dan karakterisasi bioplastik berbasis pati sagu termodifikasi, tahap empat aplikasi bioplastik sebagai pengemas kopi bubuk.

1. Modifikasi Heat Moisture Treatment (HMT)

Pembuatan pati sagu termodifikasi HMT mengikuti metode (Zavareze et al., 2012). Pati sagu yang sudah diketahui kadar air awalnya dilakukan pengaturan kadar air pada level 20% kemudian dilakukan inkubasi pada suhu 4°C selama semalam. Sampel kemudian ditempatkan dalam wadah gelas tertutup dan dilakukan pemanasan pada suhu 110°C menggunakan autoclave selama 1 jam. Selanjutnya sampel pati dikeringkan pada suhu 50°C selama 18 jam.

2. Karakterisasi Pati termodifikasi HMT

Pati sagu termodifikasi HMT selanjutnya dilakukan karakterisasi sifat fisikokimia meliputi kadar air dan kadar amilosa (AOAC, 1995), serta daya pengembangan dan kelarutan pati (Adebawale et al., 2009).

3. Pembuatan dan karakterisasi Bioplastik

Metode yang digunakan dalam pembuatan bioplastik mengacu pada metode Kumoro dan Purbasari (2014) yang dimodifikasi dari metode Zhang et al. (2009). Pati sagu sebanyak 3% (basis berat kering) dilakukan pelarutan dengan aquades 50 ml dan ditambahkan gliserol 15% (basis berat kering pati) kemudian suspensi pati ditambahkan aquades hingga volume 100 ml. Larutan pati kemudian dipanaskan menggunakan penangas air yang dilengkapi dengan termostat pada suhu 95°C selama 30 menit. Kemudian larutan pati dituang ke dalam polyethylene tray berukuran 20 x 10 cm. Larutan didiamkan selama 15 menit untuk proses retrogradasi kemudian dimasukkan ke dalam cabinet dryer untuk proses pengeringan pada suhu 50°C selama 18 jam. Selanjutnya lembaran plastik diambil dari cetakan dan dilakukan karakterisasi sifat fisik dan mekanisnya yang meliputi :

a. Kuat tarik dan elongasi menggunakan Universal Testing Machine

Sampel film dipotong berbentuk dimensi I, dengan lebar film 2 cm dan ketebalan sesuai dengan perlakuan. Ketebalan ditentukan berdasarkan rerata pengukuran pada 5 tempat yang berbeda. Kecepatan pengujian adalah 10 mm/menit, dengan jarak antar penjepit adalah 50 mm. Tekan tombol start dua kali, pertama untuk mengaktifkan alat dan tekan kedua untuk proses pengujian. Film akan mendapatkan gaya tarik sehingga terjadi perpanjangan, sampai film terputus (sobek). Tensile strength (Mpa) dihitung berdasarkan gaya maksimum (Newton) dibagi dengan luas area film (m²) yang diberikan pada film sampai putus.

b. Water Vapor transmission rate

Pengukuran uap air (WVP) dilakukan dengan metode gravimetrik (Detduangchan & Wittaya, 2011). Sampel digunting berbentuk lingkaran dengan diameter 6,5 cm kemudian diukur

ketebalan sampel pada 5 titik yang berbeda menggunakan mikrometer sekrup. Selanjutnya sejumlah 20 gram silika gel yang telah dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 24 jam dimasukkan dalam cawan poliakrilat yang telah diketahui beratnya. Selanjutnya cawan poliakrilat yang berisi silika gel ditutup menggunakan sampel bioplastik. Cawan poliakrilat yang berisi silika gel dan bioplastik diletakkan dalam desikator yang berisi larutan NaCl jenuh selama 48 jam. Cawan berisi silika gel dilakukan penimbangan tiap 3 jam sekali. Hasil penimbangan selanjutnya dibuat grafik hubungan perubahan berat terhadap waktu penyimpanan. Slope dari kurva linear menggambarkan jumlah uap air yang terdifusi melalui lapisan film per unit waktu (g/jam). Perhitungan permeabilitas uap air dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$WVP \text{ (g H}_2\text{O.mm / jam.m}^2\text{)} = (\Delta w \times b)/A \quad (1)$$

Di mana :

Δw = slope kurva hubungan perubahan berat/waktu (g H₂O)/jam)

b = ketebalan film (mm)

A = luas lembaran film (m²)

c. Kelarutan dalam air (Gontard et al., 1994)

d. Kecepatan degradasi

Bioplastik dari pati sagu diuji sifat biodegradasinya dengan menggunakan larutan EM4 (Effective Microorganism) mengikuti metode Wafiroh et al. (2012). Sampel bioplastik dipotong ukuran 2x2 cm kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105oC selama 24 jam. Sampel bioplastik selanjutnya ditimbang untuk mengetahui berat awalnya kemudian direndam dalam 25 ml larutan EM4 dalam cawan petri selama 9 hari. Pengamatan dilakukan tiap 3 hari untuk mengetahui penurunan berat bioplastik dengan menyaring sampel bioplastik hasil perendaman dalam larutan EM4 dengan kertas saring yang telah diketahui berat konstan. Selanjutnya sampel hasil perendaman dan kertas saring dikeringkan dalam oven pada suhu 105oC selama 24 jam kemudian ditimbang. Perhitungan persentase kehilangan berat dari sampel bioplastik dihitung menggunakan persamaan :

$$\% \Delta W = (W1-W2)/W1 \times 100\%$$

di mana : ΔW = susut bobot sampel (%)

$W1$ = berat sampel awal (g)

$W2$ = berat sampel setelah perendaman EM4 (g)

4. Aplikasi Bioplastik sebagai Pengemas Kopi Bubuk

Bioplastik dari Pati Sagu yang masih berupa lembaran dilakukan pemotongan dengan ukuran 5 x 5 cm kemudian dilakukan sealing pada ketiga sisinya. Kemudian untuk mengetahui pengaruh pengemasan menggunakan bioplastik, selanjutnya bioplastik yang sudah disealing dimasukkan kopi bubuk ke dalam kemasan bioplastik kemudian di seal pada bagian ujung sisi

yang lainnya. Pengamatan dilakukan dengan mengukur daya larut bioplastik sebagai pengemas bubuk kopi dalam air panas dan air dingin.

5. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian yaitu menggunakan Rancangan Acak Lengkap faktor tunggal dengan 2 perlakuan yaitu pati sagu alami dan pati termodifikasi HMT. Masing-masing perlakuan dilakukan 3 ulangan perlakuan sehingga diperoleh 6 satuan percobaan. Data yang diperoleh dianalisis statistic non parametrik menggunakan metode T-Test.

Hasil dan pembahasan

1. Karakteristik Pati sagu alami dan Termodifikasi HMT

Modifikasi fisik pati sagu melalui Heat Moisture Treatment (HMT) berpengaruh terhadap karakteristik fisikokimia pati alaminya. Karakteristik fisikokimia pati sagu alami dan pati sagu termodifikasi meliputi amilosa, daya pengembangan, dan kelarutan dapat pada Tabel 1. Modifikasi pati sagu melalui HMT berpengaruh terhadap kadar amilosa dan daya pengembangan, tetapi tidak berpengaruh terhadap kelarutan pati. Pati sagu alami memiliki kandungan amilosa 35%, hasil ini sama dengan yang telah dilaporkan oleh Dewi et al. (2023) dan Santoso et al. (2021). Kadar amilosa pati alami lebih rendah dari pati HMT. Hal ini disebabkan karena terjadi degradasi amilopektin selama proses HMT dan adanya interaksi antara amilosa dan amilopektin pada granula pati yang berkontribusi terhadap peningkatan kadar amilosa (Liu et al., 2015). Selain itu, modifikasi HMT mengakibatkan peningkatan kristalinitas granula pati sehingga pengikatan iod pada molekul pati makin intensif sehingga kadar amilosa pati tampak meningkat (Khamthong & Lumdubwong, 2012).

Tabel 1. Karakteristik Fisikokimia Pati Sagu Alami dan Pati Sagu Termodifikasi HMT

Perlakuan	Amilosa (%)	Daya Pengembangan (g/g db)	Kelarutan (%)
Pati Alami	35,31*	10,33*	1,44
Pati Sagu HMT	36,71	9,59	1,24

Keterangan : Notasi (*) pada kolom yang sama terdapat perbedaan nyata pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0.05$)

Daya pengembangan (*Swelling power*) menunjukkan seberapa besar pati dapat menggelembung yang ditunjukkan melalui perubahan berat karena penyerapan air oleh granula pati. Modifikasi pati sagu melalui HMT menurunkan daya pengembangan pati yang disebabkan adanya perubahan kristalinitas granula pati atau adanya interaksi antar komponen pati pada daerah amorf granula selama modifikasi HMT. Singh et al., (2009) melaporkan bahwa daya pengembangan (*swelling power*) pada pati indian water chestnut dalam perlakuan HMT menurun dibandingkan dengan pati alaminya. Modifikasi HMT menyebabkan molekul granula pati menjadi lebih rapat sehingga kemampuan granula membengkak (*swelling power*) menjadi terbatas atau mengalami penurunan.

Kelarutan pati terjadi akibat adanya molekul amilosa yang keluar dari granula (*leaching* amilosa) selama proses pemanasan dengan air berlebih. Keluarnya amilosa ini menandakan adanya transisi di dalam granula pati dari teratur menjadi tidak teratur ketika pati dipanaskan dengan air berlebih (Zavareze et al., 2012). Pada Tabel 1, menunjukkan pati termodifikasi HMT tidak berpengaruh terhadap kelarutan pati.

2. Karakteristik Sifat Fisik, Mekanis, dan Kecepatan Degradasi Bioplastik berbasis pati Sagu Alami dan Pati Sagu Termodifikasi HMT

Sifat fisikokimia pati sagu termodifikasi HMT berpengaruh terhadap permeabilitas uap air dan kelarutan bioplastik. Khamthong and Lumdubwong (2012) melaporkan bahwa tepung beras termodifikasi HMT dengan perlakuan pengaturan kadar air 20%, suhu pemanasan 100°C selama 4 jam dapat menghasilkan produk termoplastik dengan kuat tarik tertinggi, serta permeabilitas uap air dan oksigen yang lebih rendah daripada termoplastik berbasis tepung jagung alami. Hasil pengujian karakteristik sifat fisik dan mekanis bioplastik berbasis pati sagu alami dan pati sagu termodifikasi HMT disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Sifat Fisik dan Mekanis Bioplastik

Sampel Bioplastik	Tensile Strength (MPa)	Elongasi (%)	WVTR (g H ₂ O.mm/jam.m ²)	Kelarutan dalam air (%)
Pati Alami	19,13	2,29	0,68	22,54
Pati Sagu HMT	19,49	2,07	0,65*	9,45*

Keterangan : Notasi (*) pada kolom yang sama terdapat perbedaan nyata pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0.05$)

Permeabilitas uap air (WVTR) merupakan kemampuan uap air untuk berdifusi pada suatu unit permukaan material pengemas tiap satuan waktu tertentu. Kemasan yang baik harus memiliki permeabilitas uap air yang rendah, agar kemasan tersebut tidak mengalami perubahan yang diakibatkan karena kelembaban udara yang tinggi sehingga kualitas produk yang dikemas tetap terjaga. Berdasarkan Tabel 2, modifikasi pati sagu melalui HMT menurunkan permeabilitas uap air bioplastic berbasis pati sagu. Hal ini disebabkan karena pati termodifikasi HMT meningkatkan kristalinitas granula pati dan menurunkan hidrasi (Sun et al., 2014). Hasil ini ditunjukkan dari peningkatan kadar amilosa dan penurunan daya pengembangan pati termodifikasi HMT (Tabel 1). Permeabilitas uap air dan kelarutan bioplastic pati HMT yang lebih rendah mengindikasikan bahwa pati HMT dapat meningkatkan barrier terhadap uap air sehingga berpotensi sebagai pengemas kopi bubuk.

Kelarutan bioplastik dalam air untuk melihat seberapa besar bioplastik tersebut larut. Berdasarkan Tabel 2, kelarutan bioplastic dari pati termodifikasi HMT lebih rendah daripada bioplastic dari pati alami. Singh et al.(2009) melaporkan *biodegradable film* berbasis pati *Chesnut* termodifikasi HMT menghasilkan kelarutan film yang lebih rendah daripada *biodegradable film* pati alaminya. Kelarutan bioplastik dari pati termodifikasi HMT yang lebih rendah bioplastik dari pati alami disebabkan karena kekompakan film sebagai akibat dari meningkatnya ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen yang semakin meningkat menyebabkan struktur molekul pati saling kuat berikatan membentuk jaringan yang kompak, sehingga menurunkan daya larut film.

Pengujian kecepatan degradasi dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat bioplastik terurai. Hasil kecepatan degradasi disajikan pada Tabel 3. Pada hari ke-3, kecepatan degradasi bioplastik untuk perlakuan tidak berbeda nyata, sementara kecepatan degradasi bioplastik pada hari ke-9 menunjukkan bioplastik dari pati termodifikasi HMT lebih cepat terdegradasi daripada bioplastic pati alami.

Tabel 3. Kecepatan Degradasi Bioplastik

Perlakuan	% Degradasi	
	Hari-3	Hari-9
Pati alami	5,96	16,18*
HMT 20	5,09	34,05

Keterangan : Notasi (*) pada kolom yang sama terdapat perbedaan nyata pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0.05$)

3. Aplikasi Bioplastik sebagai Kemasan Kopi Bubuk

Bioplastik dari pati sagu alami dan pati sagu termodifikasi HMT sebagai pengemas kopi bubuk dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian sampel kemasan bioplastik dalam mengemas bubuk kopi diuji pada air suhu ruang dan air panas (90°C). Pada air suhu 27°C tidak terlarut didalam air, sedangkan pengujian pada air panas kecepatan larut bioplastic dari pati HMT lebih cepat daripada bioplastik dari pati alami. Besarnya kelarutan suatu zat dalam suatu pelarut dipengaruhi oleh sifat dan intensitas kekuatan serta interaksi antara zat terlarut dan pelarutnya. Kecepatan larut bioplastic dari pati termodifikasi HMT dapat dikaitkan dengan kecepatan degradasi bioplastic pati HMT yang lebih cepat dari pati alami.



Gambar 1. Aplikasi bioplastik sebagai pengemas kopi bubuk

Tabel 4. Kecepatan larut bioplastik dalam mengemas kopi bubuk

Sampel Kemasan Bioplastik	Kecepatan larut dalam air dingin (detik)	Kecepatan larut dalam air panas (detik)
Pati sagu Alami	Tidak Larut	139*
Pati sagu HMT	Tidak Larut	116

Keterangan : Notasi (*) pada kolom yang sama terdapat perbedaan nyata pada tingkat signifikansi 95% ($p < 0.05$)

Kesimpulan

Modifikasi HMT menurunkan daya pengembangan dan meningkatkan kadar amilosa pati sagu. Bioplastik pati sagu termodifikasi HMT menghasilkan bioplastik dengan kelarutan dan permeabilitas uap air yang lebih rendah daripada bioplastic dari pati sagu alami. Hasil ini mengindikasikan bahwa pati sagu termodifikasi HMT dapat menurunkan sifat hidrofilik bioplastic berbasis pati sagu sehingga dapat diaplikasikan sebagai pengemas kopi bubuk. Bioplastik dari pati sagu termodifikasi HMT sebagai kemasan kopi bubuk juga memiliki kecepatan larut dalam air panas yang lebih tinggi daripada bioplastic dari pati alaminya.

Daftar pustaka

- Adebowale, K. O., Henle, T., Schwarzenbolz, U., & Doert, T. (2009). Modification and properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex A. Rich.) Harms starch I: Heat moisture treatments and annealing. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1947–1957.
- AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemist*. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemist. Inc.,
- Detduangchan, N., & Wittaya, T. (2011). Effect of UV-Treatment on Properties of Biodegradable Film From Rice Starch. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57(3), 464–469.
- Dewi, A. M. P., Santoso, U., Pranoto, Y., & Marseno, D. W. (2023). Optimizing reaction condition of octenyl succinic anhydride on heat-moisture-treated sago starch and its application for biodegradable film. *Food Science and Technology*, 43, 1–9.
- Du, M., Cao, T., Yu, M., Zhang, C., & Xu, W. (2023). Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of chickpea starch. *Food Science and Technology (Brazil)*, 43, 1–9.
- Gontard, N., Ducheze, C., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids : water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, 39–50.
- Imran, Y. L., Hutomo, G. S., & Rahim, A. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu (*Metroxylon* sp). *E-J. Agrotekbis*, 2(1), 38–46.
- Indrianti, N., Pranoto, Y., & Abbas, A. (2018). Preparation and characterization of edible films made from modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 679–687.
- Khamthong, P., & Lumdubwong, N. (2012). Effects of heat-moisture treatment on normal and waxy rice flours and production of thermoplastic flour materials. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 340–347.
- Khunae, P., Tran, T., & Sirivongpaisal, P. (2007). Effect of heat-moisture treatment on structural and thermal properties of rice starches differing in amylose content. *Starch/Staerke*, 59(12), 593–599.
- Klein, B., Pinto, V. Z., Vanier, N. L., Zavareze, E. D. R., Colussi, R., Evangelho, J. A. Do, Gutkoski, L. C., & Dias, A. R. G. (2013). Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1578–1584.
- Kumoro, A. C., & Purbasari, A. (2014). Sifat Mekanik dan Morfologi Plastik Biodegradable dari Limbah Tepung Nasi Aking dan Tepung Tapioka Menggunakan Gliserol sebagai Plasticizer. *TEKNIK*, 35(1), 8–16.
- Liu, H., Guo, X., Li, W., Wang, X., Lv, M., Peng, Q., & Wang, M. (2015). Changes in physicochemical properties and in vitro digestibility of common buckwheat starch by heat-moisture treatment and annealing. *Carbohydrate Polymers*, 132, 237–244.
- Obioma, G., O., Doshima, B., I., K, Julius, I., & Olisa, A. (2022). Physicochemical and Functional

- Properties of Modified Starches of White Yam, Trifoliate Yam and Sweet Potato. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, 8(2), 50–60.
- Pukkahuta, C., & Varavinit, S. (2007). Structural transformation of sago starch by heat-moisture and osmotic-pressure treatment. *Starch/Staerke*, 59(12), 624–631.
- Santoso, B., Sarungallo, Z. L., & Puspita, A. M. (2021). Physicochemical and functional properties of spineless, short-spines, and long-spines sago starch. *Biodiversitas*, 22(1), 137–143.
- Singh, G. D., Bawa, A. S., Riar, C. S., & Saxena, D. C. (2009). Influence of heat-moisture treatment and acid modifications on physicochemical, rheological, thermal and morphological characteristics of indian water chestnut (*trapa natans*) starch and its application in biodegradable films. *Starch/Staerke*, 61(9), 503–513.
- Sondari, D., Falah, F., Suryaningrum, R., Sari, F. P., Sari, F. P., Septefani, A. A., Septefani, A. A., Restu, W. K., Restu, W. K., Sampora, Y., & Sampora, Y. (2019). Biofilm Based on Modified Sago Starch: Preparation and Characterization. *Reaktor*, 19(3), 125–130.
- Sun, Q., Han, Z., Wang, L., & Xiong, L. (2014). Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chemistry*, 145, 756–764.
- Wafiroh, S., Adiarto, T., & Agustin, E. T. (2012). Pembuatan dan karakterisasi edible film dari komposit kitosan-pati garut (*maranta arundinaceae* L) dengan pemlastis asam laurat. *Journal of Mathematics and Natural Science*, 15(01), 9–16.
- Zavareze, E. D. R., Pinto, V. Z., Klein, B., El Halal, S. L. M., Elias, M. C., Prentice-Hernández, C., & Dias, A. R. G. (2012). Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, 132(1), 344–350.
- Zhang, Y. R., Zhang, S. D., Wang, X. L., Chen, R. Y., & Wang, Y. Z. (2009). Effect of carbonyl content on the properties of thermoplastic oxidized starch. *Carbohydrate Polymers*, 78(1), 157–161.